空空冷异步电动机用方箱机座结构优化设计

朱常兴[1,2],朱常权[2],王殿友[1,2],薛洪波[3],王晓文[2]
(1 佳木斯电动机股份有限公司北京研发中心,北京 100070;
2 国家防爆电动机工程技术研究中心,佳木斯 154002;3 中国科学院国家空间科学中心,北京 100190)

摘要:方箱机座是空空冷异步电动机所用焊接机座的一种典型结构形式,被广泛应用在大中型电动机产品中。在有限元分析的基础上,以中心高为 450mm 的典型方箱机座为例进行了详细的分析,改进了该方箱机座的结构模式,相对于结构优化前减重 10% 左右。该方法也为类似结构的方箱机座结构优化设计提供了参考。

关键词:方箱机座;有限元分析;结构优化设计
中图分类号:TH123　文献标志码:A　文章编号:1671—3133(2015)03—0113—03

Optimization design of square frame used in air to air cooling asynchronous motor

Zhu Changxing[1,2],Zhu Changquan[2],Wang Dianyou[1,2],Xue Hongbo[3],Wang Xiaowen[2]
(1 Beijing R&D Center of Jiamusi Electric Machine Co. Ltd.,Beijing 100070,China;2 National Engineer Research Center of Explosion-proof Motor,Jiamusi 154002,Heilongjiang,China;
3 National Space Science Center,CAS,Beijing 100190,China)

Abstract: The square frame is a typical form of weld frame which is used in air to air cooling asynchronous motor,is widely used in large and medium motor products. Based on the finite element analysis,a typical square frame with centre height 450mm is analyzed in detail,its structure is modified and improved,and the weight of the square frame is decreased about 10%. And the method can be used in optimization design of similar square frame.

Key words: the square frame;finite element analysis;optimization design of structure

0　引言

电动机机座是电动机整体中最重要的结构部件之一,它起着支撑、保护和通风等多种作用。方箱机座由于其生产工艺简单、灵活,在大中型电动机行业中得到了广泛应用[1-2]。目前,国内电动机生产企业在电动机的机座设计时,一般都是参考已有产品结构进行类比设计。这种方法虽然简便但不够精确,不能有效地利用材料,并可能造成局部结构应力集中、影响电动机使用寿命等不良后果[3]。

计算机仿真技术,特别是有限元技术目前已成为机械结构优化设计的主要技术手段[3-9],人们利用这些技术可实现对复杂机械结构的强度、刚度和振动等方面的仿真计算和分析[4-8],这对于提高产品质量和降低制造成本等有重要的促进作用。

本文采取有限元方法,通过对中心高为 450mm 的空空冷异步电动机(简称 YKK450)典型方箱机座的仿真分析,可以控制方箱机座的结构刚度、振动模态和结构强度等指标,实现对其结构的优化设计。

1　结构优化控制条件

1.1　YKK450 方箱机座结构

YKK450 方箱机座的结构形式如图 1 所示。

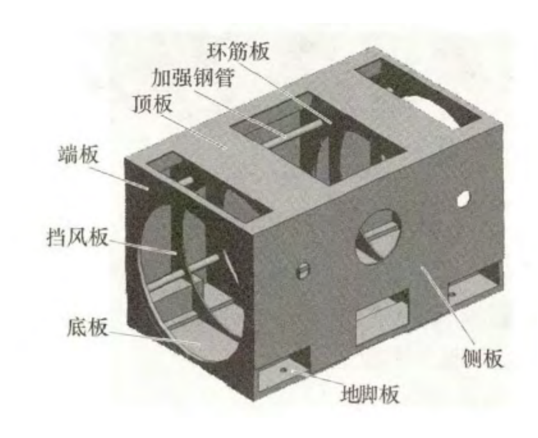


图 1　YKK450 方箱机座的结构形式

从图 1 中可以看出,YKK450 方箱机座主要由环筋板、挡风板、端板、顶板、侧板、底板和加强钢管等焊接而成,材料为 Q235 焊接结构钢。

优化前 YKK450 方箱机座的板厚如表 1 所示。

表 1 优化前 YKK450 方箱机座的板厚

端板厚/mm	环筋板厚/mm	挡风板厚/mm	侧板厚/mm	顶板厚/mm
30	30	8	8	8

1.2 机座有限元分析

有限元方法的发展,特别是结构力学分析软件的应用,为分析复杂结构的力学特性提供了可能。YKK450 方箱机座的使用要求决定了其应具有一定的刚度和强度,其本征振动模态要远离电磁频率及其倍频,图 2 所示为 YKK450 方箱机座的有限元网格图。

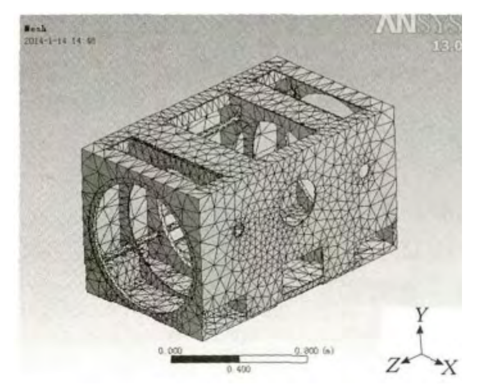


图 2 YKK450 方箱机座有限元网格图

1.2.1 机械刚度、强度分析

机械刚度和强度分别体现方箱机座抵御变形和破坏的能力,本文对空空冷异步电动机进行了加载,通过有限元软件分析,获得了 YKK450 方箱机座的变形和应力云图,如图 3、图 4 所示。

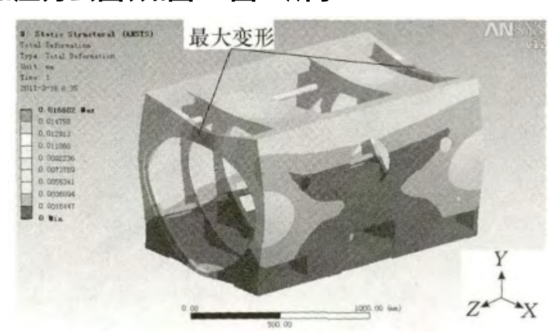


图 3 YKK450 方箱机座变形图

从有限元分析结果来看,机座的整体最大变形发生在两侧端板上,数值为 16.6μm。机座最大应力为 3.8MPa,出现在端板上。

1.2.2 振动模态分析

振动控制一直是电动机设计中要考虑的关键技术之一,YKK450 方箱机座的本征振动模态,尤其是 1 阶振动频率要尽可能提高且要远离电磁频率及其倍频。通过有限元方法得到了 YKK450 方箱机座的振动模态,如表 2 所示。

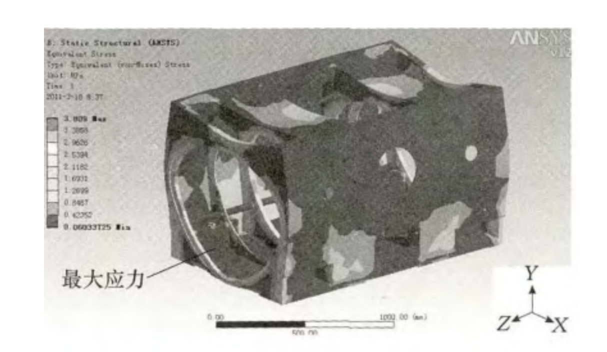


图 4 YKK450 方箱机座应力云图

表 2 YKK450 方箱机座的振动模态

阶数	1	2	3	4	5	6
频率/Hz	165	223	258	261	315	355

1.3 优化控制条件确定

YKK450 方箱机座结构优化设计目标是使现有 YKK450 方箱机座在满足使用要求的前提下,尽可能轻量化,故方箱机座整体质量将成为优化设计的期望参数;机座的刚度对电动机振动影响较大,因而成为主要的控制参数;由于在实际分析中发现,机座所受最大应力小于材料本身的机械强度(235MPa),故本文将最大应力和振动模态一同作为校核参数。YKK450 方箱机座结构优化参数如表 3 所示。

表 3 YKK450 方箱机座结构优化参数

参数	目标值	备注
整体质量/kg	891.5	期望参数
工作载荷时的最大变形/μm	16.6	控制参数
工作载荷时的最大应力/MPa	3.8	校核参数
1 阶模态频率/Hz	165.5	校核参数

2 结构优化设计方法

YKK450 方箱机座结构相对复杂,在机座结构优化过程中,本文对其原有结构进行了调整,主要包括改变并调整零件结构尺寸和焊接布局、减薄板材厚度及调整加强结构等手段。另外,在工程应用领域,板材的规格是离散的,因而无法实现参数化的结构优化设计,故本文采用多次计算的方法进行该机座的结构优化设计。通过有限元分析,最终确定了 YKK450 方箱机座的结构优化方法如下。

1) 减薄环筋板、挡风板、侧板和顶板厚度,具体数

据如表 4 所示。

表 4　YKK450 方箱机座减薄后的板厚数据

端板厚/mm	环筋板厚/mm	挡风板厚/mm	侧板厚/mm	顶板厚/mm
30	25	5	5	5

2）将端板、环筋板和挡风板增高 20mm，从而补偿因板材减薄导致的机座刚度的降低。

3）调整 Z 向加强钢管的位置，并在机座顶部增加了一根加强钢管，从而提高了整体刚度，并进一步提高了机座的 Z 向刚度。

结构优化后的 YKK450 方箱机座如图 5 所示。

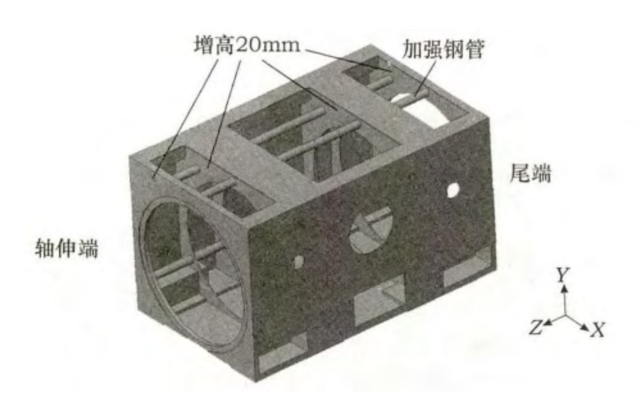


图 5　结构优化后的 YKK450 方箱机座

3　优化前后机座结构性能对比

对优化后的 YKK450 方箱机座结构进行有限元分析，方法如前，这里不再赘述。YKK450 方箱机座结构优化前后对比如表 5 所示。

表 5　YKK450 方箱机座结构优化前后对比

对比参数	优化前数值	优化后数值
整体质量/kg	891.7	804.9
1 阶模态频率/Hz	165.0	160.2
工作载荷时的最大变形/μm	16.6	16.0
工作载荷时的最大应力/MPa	3.8	4.6
Z 向载荷 1kN 时的变形/μm	6.0	1.7
Z 向载荷 1kN 时的应力/MPa	1.4	0.5

从表 5 中不难看出，结构优化后的 YKK450 方箱机座相对原机座质量减少约 10%，同时改善了原机座的刚度和强度，并大幅提高了其轴向（Z 向）刚度，虽然 1 阶振动模态略有降低，但满足电动机对其本征振动模态的要求（即 1 阶振动模态要远离工频及其倍频，此处为三倍频，为 150Hz）。经过优化设计的机座已经在 YKK450 全系列中得到应用，该电动机的整机测试表明，结构优化后的 YKK450 方箱机座满足使用要求。表 6 给出了应用结构优化后的 YKK450 方箱机座的电动机振动测试数据，所有数据均小于 2.3mm 的设计要求。

表 6　应用结构优化后的 YKK450 方箱机座的电动机振动测试数据

轴伸端位移/mm			非轴伸端位移/mm			机座位移/mm		
Y 向	Z 向	X 向	Y 向	Z 向	X 向	轴伸端	中部	尾端
0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.9	0.8

4　结语

本文对中心高为 450mm 的典型 YKK450 方箱机座的结构优化方法进行了探讨，在有限元分析的基础上，通过调整方箱机座的结构和布局等，实现了相对原机座减重 10% 左右，为 YKK450 方箱机座的结构优化设计提供了方法和技术途径。

参 考 文 献：

[1] 陈世坤. 电动机设计［M］. 北京：机械工业出版社，2000：144－146.

[2] 曹晓民，董永钢. Q345E 钢风力发电机座的焊接［J］. 金属加工，2010（12）：29－31.

[3] 刘建忠. 利用有限元法对电机机座的分析与优化［J］. 防爆电动机，2010（3）：20－23.

[4] 王天煜，王凤翔，白浩然，等. 大型异步电机结构振动特性的研究［J］. 机械强度，2009，31（1）：140－143.

[5] 魏建武. 350MW 汽轮发电机机座和端盖刚度及强度的有限元分析［J］. 科技创新导报，2008（17）：102.

[6] 欧江. 基于有限元的立式电机机座的瞬态响应分析［J］. 机械研究与应用，2006，19（5）：42－43.

[7] 曹晋民，由美雁. 组装式真空罐矩形法兰的设计与有限元分析［J］. 机械设计与制造，2013（10）：15－17.

[8] 杨德华，Lorenzo Zago，李徽，等. 新型 3-CPS/RPPS 机构的有限元建模及模态分析［J］. 机械设计与制造，2013（10）：101－104.

[9] 李坤，钟崴，王寅华，等. 基于 GA 的汽轮发电机机座的结构优化设计［J］. 现代机械，2010（5）：16－19.

作者简介：朱常兴，博士，高级工程师，主要研究方向：电动机结构设计与仿真、热分析和振动分析等，已发表多篇论文，其中 2 篇 SCI 检索、2 篇 EI 检索。
E-mail：523201926@qq.com

收稿日期：2014-02-18